Sisteme de Prelucrare Grafică

Curs nr. 8

Cap 4 Modele de reflexie şi iluminare

În lumea reală, atunci când lumina provenită de la diferite surse de lumină cade asupra obiectelor opace, o parte este absorbită de obiecte, iar o parte este reflectată. Ochiul percepe lumina reflectată de obiect, pentru a interpreta forma, culoarea si alte detalii ale obiectului. Pentru calculul iluminării in grafica pe calculator trebuie sa fie definite sursele de lumină şi interacţiunea dintre lumină şi suprafeţe.

Un model de iluminare defineşte natura luminii emise de o sursă de lumină, adică distribuţia intensităţii luminii. Un model de reflexie descrie interacţiunea dintre lumină şi o suprafată, în funcţie de proprietăţile suprafeţei şi natura sursei de lumină.

Implementarea unui model de reflexie în procesul de calculare a intensităţii culorii fiecarui pixel este cunoscută sub numele de tehnica de umbrire.

4.1 Consideraţii teoretice asupra reflexiei luminii

Lumina incidentă la o suprafaţă a unui obiect este distribuită în patru categorii:

- lumina reflectată
- lumina absorbită
- lumina transmisă
- lumina împraştiată şi emisă

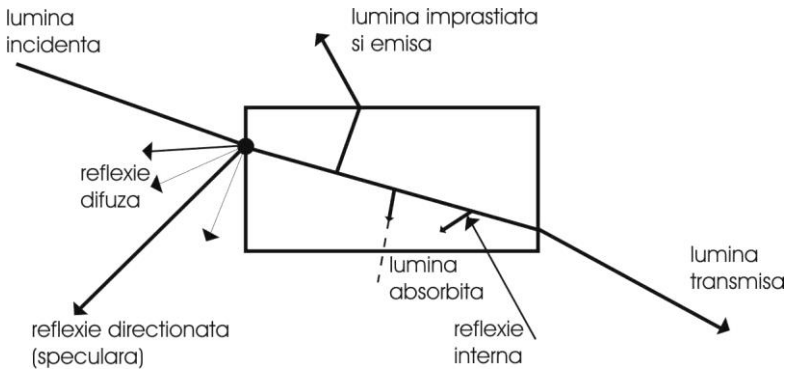


fig1. Interacţiunea luminii cu un corp solid

Intensitatea şi lungimea de undă a luminii reflectate de o suprafaţă a unui obiect depinde de mai mulţi factori:lungimea de undă a luminii incidente, unghiul de incidenţă, natura suprafeţei şi proprietaţile ei electrice: permitivitatea, permeabilitatea şi conductanţa. Modelul exact al interacţiunii este extrem de complex şi el poate fi aproximat prin

intermediul funcţiei de reflexie bidirecţională (bidirectional reflectivity function BDRF) care permite o apreciere cantitativă suficient de sugestivă pentru redarea iluminării obiectelor în grafica pe calculator.
Funcţia de reflexie bidirecţională reprezintă raportul dintre intensitatea luminii reflectate şi direcţia (Φ_v, θ_v) şi energia luminii primite din direcţia (Φ_i, θ_i).

$$R_{b\lambda}(\lambda, \Phi_i, \theta_i, \Phi_v, \theta_v) = \frac{I_v(\Phi_i, \theta_i, \Phi_v, \theta_v)}{E_i(\Phi_i, \theta_i)} \qquad (1)$$

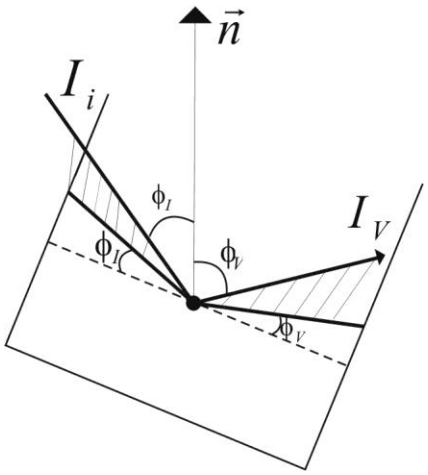


fig2. Reflexia bidirecţională a luminii

Funcţia BDRF depinde de lungimea de undă λ. Reflexia între energia luminii incidente corespunzătoare unui unghi solid $d\omega_i$ şi intensitatea I_i este:

$$E_i(\Phi_i, \theta_i) = I_i(\Phi_i, \theta_i)\cos\theta_i d\omega_i \qquad (2)$$

În grafica pe calculator se consideră, în mod simplificat, că intensitatea reflectată este compusă din trei componente:

- componenta dată de reflexia direcţională(specular)
- componenta dată de reflexia difuză direcţională
- componenta dată de reflexia difuză ideală

Primele două componente se datorează reflexiei de prim ordin, iar componenta de reflexie difuză ideală se datorează reflexiilor multiple şi a reflexiilor subsuprafetelor: fig.3.

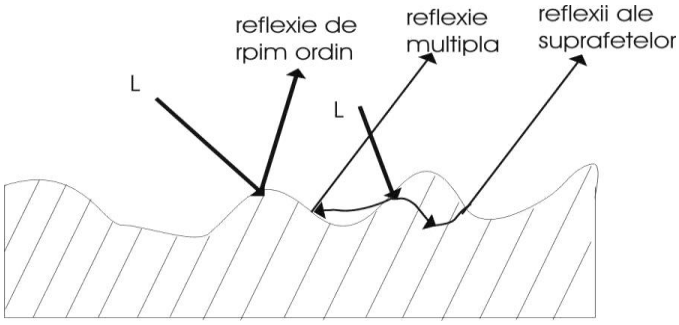


fig 3. Reflexii de prim ordin, reflexii multiple şi reflexii ale suprafeţelor

Valorile componentelor intensităţilor reflectate depind de rugozitatea suprafeţelor şi de λ. Pentru o suprafaţă oglindă perfectă singura componentă reflectată este lumina speculară.
Pentru suprafeţe reale, cu un anumit grad de rugozitate, componenta speculară se defineşte ca intensitatea reflectată în direcţia $\phi_v = \phi_i, \theta_v = \theta_i$,considerată faţă de orientarea medie a suprafeţei.

Obs Intensitatea componentei speculare depinde de rugoziate: cu cât suprafaţa este mai netedă cu atât este mai mare.
Componenta de difuzie direcţionată depinde de asemenea de reflexiile de prim ordin. Direcţiile de reflexie sunt împrăştiate în semisfera centrată în punctul de incidentă, dar există o distincţie privilegiată, care este direcţia reflexiei speculare.
Componenta de difuzie ideală reflectă lumina în toate direcţiile, în interiorul unei semisfere centrate în punctul de incidentă, cu aceeaşi intensitate.

5.2 Modelul de reflexie Phong

Modelul de reflexie Phong este cel mai cunoscut model în grafică pe calculator. Acesta adoptă o reprezentare empirică şi fenomenologică, prin formulele de calcul simple. Modelul consideră lumina reflectată de o suprafaţă ca fiind o combinaţie liniară a trei componente:

- reflexie difuză ideală (reflexie lambertrană)
- reflexie speculară
- reflexie ambientală

a) Reflexia difuză ideală (reflexia lambertrană)

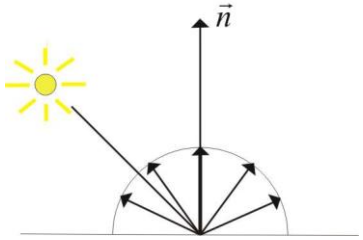


fig 4.

Lumina incidentă pe o suprafaţă este parţial absorbită şi parţial reflectată cu aceeaşi intensitate în toate direcţiile în interiorul unei emisfere centrate în punctul de incidenţă.

Această componentă a luminii reflectate descrie, cu o bună aproximaţie, comportarea materialelor mate(opace).

Considerăm că intensitatea luminii incidente care soşeste din direcţia $\vec{l}$ este I_i şi determinăm intensitatea I_d a luminii difuzate de o suprafaţă infinitezimală dA_S .

$\vec{l}$ -vectorul unitate îndreptat către sursa de lumină
$\vec{v}$ -vectorul unitate îndreptat către observator
$\vec{n}$ -normala la suprafaţă

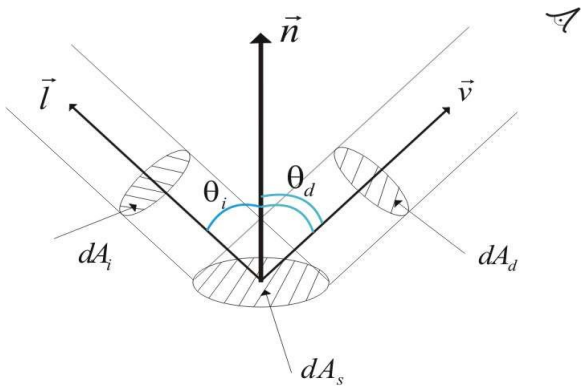


fig 5.

Putem scrie:

$$I_d(\vec{v}) = f(\vec{l},\vec{v}) \cdot I_i(\vec{l}) \cdot \frac{dA_i}{dA_d} \qquad (3)$$

unde $f(\vec{l},\vec{v})$ - este o funcţie ce depinde de $\vec{l}$, $\vec{v}$ şi de proprietăţile suprafeţei.

$$\Rightarrow I_d(\vec{v}) = f(\vec{l},\vec{v}) \cdot I_i(\vec{l}) \cdot \frac{dA_i}{dA_S} \cdot \frac{dA_S}{dA_d} = I_i(\vec{l}) \cdot f(\vec{l},\vec{v}) \cdot \frac{\cos\theta_i}{\cos\theta_d} \quad (4)$$

Deoarece considerăm că I_d este independentă de direcţia reflectată rezultă că:

$$f(\vec{l},\vec{v}) = K_d \cdot \cos\theta_d \qquad (5)$$

şi deci componenta de difuzie ideală este dată de relaţia:

$$\boxed{I_d(\vec{v}) = K_d \cdot I_i(\vec{l}) \cdot \vec{l} \cdot \vec{n}} \qquad (6)$$

unde K_d - un coeficient de reflexie empiric, dependent de lungimea de undă şi de natura suprafeţei.

Obs Dacă se consideră o suprafaţă plană unghiul θ_i =const. deci $\vec{l} \cdot \vec{n} = \cos\theta_i = const$, şi deci componenta de difuzie ideală este constantă.

Pentru mai multe surse de lumină avem(m surse):

$$\boxed{I_d = K_d \cdot \sum_n I_{i,n} \cdot \vec{l}_n \cdot \vec{n}} \qquad (7)$$

$\vec{l}_n$ - vectorul unitate în direcţia celei de-a n-a sumă.

Atenuarea

În relaţiile anterioare nu a fost luată în considerare atenuarea. În grafică se modelează două tipuri de surse:

- direcţionale
- punctiforme

Lumina provenită de la o sursă direcţională are razele paralele şi teoretic nu există atenuare pentru intensitatea luminii (vezi unde plane).

O sursă punctiformă emite lumina cu aceeaşi intensitate în toate direcţiile. Pentru o astfel de sursă intensitatea scade cu pătratul distanţei (vezi unde sferice) deci:

$$I_i(\vec{l}) = \frac{I_0}{r^2} \qquad (8)$$

Această expresie nu satisface cazul în care sursa este foarte îndepărtata şi de asemenea cazul în care sursa este la distanţă foarte mică de scenă, intensităţile obţinute pentru doua suprafeţe cu acelaşi unghi între $\vec{l}$ şi $\vec{n}$ fiind mult diferite.

$$\boxed{I_i(\vec{l}) = \frac{I_0}{K_C + K_l r + K_q r^2}} \qquad (9)$$

unde,

K_c - factor de atenuare constant

K_l - factor de atenuare liniar

K_q - factor de atenuare pătratic

r – distanţa de la sursă la punctul în care se calculează iluminarea

In OpenGL valorile implicite sunt: K_c =1, K_l =0, K_q =0, dar pot fi setate şi pentru valori dorite (implicit se consideră sursa direcţională).

Deci valorile (6) si (7), pentru cazul surselor punctiforme devin:

$$\boxed{I_d(\vec{v}) = K_d \cdot \frac{I_0}{K_c + K_l \cdot r + K_q r^2} \cdot \vec{l} \cdot \vec{n}} \qquad (10)$$

respectiv (pentru mai multe surse):

$$I_d(\vec{v}) = K_d \cdot \sum_m \frac{I_{0,m} \cdot \vec{l}_m \cdot \vec{n}}{K_{c,m} + K_{l,m} \cdot r_m + K_{qm} r_m^{\ 2}} \qquad (11)$$

b) Componenta specular

Termenul lambertian (componenta difuză ideală) dat de relaţiile anterioare modelează suprafeţele mate nu şi pe cele lucioase. Suprafeţele lucioase strălucesc deoarece o cantitate din lumina reflectată depinde de partea observatorului.

În modelul Phong, intensiatea luminii reflectate specular depinde de unghiul dintre direcţia de observare $\vec{v}$ şi direcţia de oglindire dată de $\vec{r}$ (fig. 6).

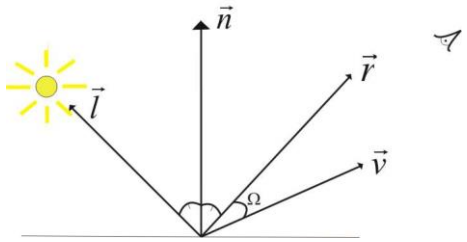
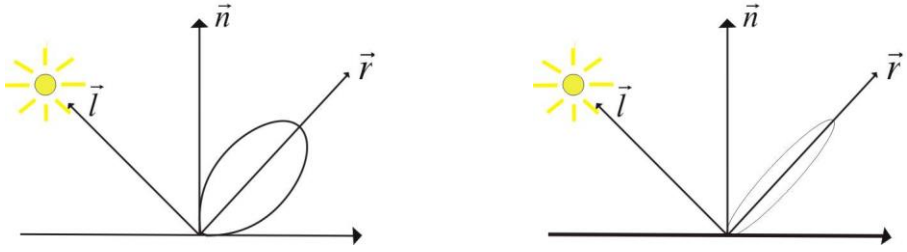


fig 6. Reflexia specular Phong

$$I_s = K_s \cdot I_i \cdot \cos^n \Omega = K_s \cdot I_i (\vec{r} \cdot \vec{v})^n \qquad (12)$$

unde n – un indice care simulează rugozitatea suprafeţei

Pentru o suprafaţă oglinda perfectă, $n \to \infty$ şi lumina va fi reflectată numai în direcţia de oglindire $\vec{r}$ (pentru care $\Omega = 0$). În cazul $\Omega \neq 0 \Rightarrow I_s = 0$ pentru valori finite ale lui n se generează un lob de reflexie, a cărui grosime este o funcţie de rugozitatea suprafeţei (fig 7).



a) n- mic b) n - mare

fig 7 Simularea reflexiei speculare cu ajutorul indicelui n

Culoarea luminii reflectate specular poate fi diferită de culoarea luminii reflectate difuz. În modelele cele mai simple de reflexie speculară se presupune că această componentă are culoarea sursei de lumină.

a) Componenta de lumină ambientală se adaugă în modelul Phong pentru a simula iluminarea globală a scenei. Această componentă permite iluminarea suprafeţelor care nu sunt vizibile din sursa de lumină, dar sunt vizibile din punctul de observare. Fără componenta ambientală, suprafeţele care sunt îndreptate către o sursă de lumină ar fi redate complet negre, ceea ce ar crea un efect nedorit.

În modelul Phong se adaugă o componentă ambientală constantă dată de relaţia:

$$I_g = K_a \cdot I_a \qquad (13)$$

Prin însumarea componentelor de lumină ambientală, difuză şi specular se obţine iluminarea totală a unei suprafeţe:

$$\boxed{I = K_a I_a + I_i[K_d \cdot \vec{l} \cdot \vec{r} + K_s(\vec{r} \cdot \vec{v})^n]} \quad (14)$$

sau $$\boxed{I = K_a \cdot I_a + \frac{I_0[K_d \cdot \vec{l} \cdot \vec{r} + K_s(\vec{r} \cdot \vec{v})^n]}{K_c + K_l \cdot r + K_q r^2}} \quad (15)$$

Obs. $\vec{l} \cdot \vec{r} = \cos\theta_i$ $\quad \theta_i -$ unghi de incidenţă

$\vec{r} \cdot \vec{v} = \cos\Omega$ $\quad \Omega -$ unghiul dintre $\vec{r}$ si $\vec{v}$

Pentru mai multe surse de lumină(m surse)

$$I = K_a \cdot I_a + \sum_m \frac{I_{0,m}[K_{d,m} \cdot \vec{l}_m \cdot \vec{n} + K_{s,m}(\vec{r}_m \cdot \vec{n})^n]}{K_{cm} + K_{lm} \cdot r_m + K_{qn} \cdot r_m^2} \qquad (16)$$

În modelul RGB de reprezentare a culorilor, relaţia (de exemplu 14) se descompune în trei componente pentru fiecare culoare roşu, verde şi albastru.

$$\begin{cases} I_r = I_a \cdot K_{ar} + I_i \cdot [K_{dr} \cdot \vec{l} \cdot \vec{n} + K_{sr}(\vec{r} \cdot \vec{v})^n] \\ I_g = I_a \cdot K_{ag} + I_i \cdot [K_{dg} \cdot \vec{l} \cdot \vec{n} + K_{sg}(\vec{r} \cdot \vec{v})^n] \\ I_b = I_a \cdot K_{ab} + I_i \cdot [K_{db} \cdot \vec{l} \cdot \vec{n} + K_{sb}(\vec{r} \cdot \vec{v})^n] \end{cases} \quad (17)$$

Obişnuit se consideră componenta specular de culoare albă, deci $K_{sr} = K_{sg} = K_{sb}$, iar culoarea suprafeţei este controlată prin coeficienţii de reflexie difuză K_{dr}, K_{dg}, K_{db} şi ambientală K_{ar}, K_{ag}, K_{ab}.

Rezultă că relaţia de calcul a culorii unei suprafeţe în modelul Phong, pentru o singură sursă de lumină, este:

$$I(r,g,b) = I_a \cdot K_a(r,g,b) + I_i[K_d(r,g,b) \cdot \vec{l} \cdot \vec{n} + K_s(\vec{r} \cdot \vec{v})^n] \quad (18)$$

Obs Modelul Phong de reflexie este un model foarte simplificat al obiectelor iluminate. În acest model sursele se consideră punctiforme, ignorându-se distribuţia surselor luminoase şi simulându-se un termen global de iluminare ambientală. Cu toate aceste simplificări se pot produce imagini cu un grad de realism suficient pentru multe aplicaţii.

Modelul Phong se poate îmbunătăţi introducând şi dependenţa de λ de exemplu, în cazul unei singure surse relaţia (15) devine:

$$I_\lambda = K_a \cdot O_{dx} \cdot I_{ax} + \frac{I_{0\lambda}[K_{d\lambda} \cdot O_{d\lambda} \cdot \vec{l} \cdot \vec{n} + K_{sx} \cdot O_{sx}(\vec{r} \cdot \vec{v})^n]}{K_c + K_{l\lambda} \cdot r + K_{q\lambda} r^2}$$

$O_{d\lambda}$ – culoarea difuză a obiectului

$O_{s\lambda}$ – culoarea speculară a obiectului

Există modele mult mai performante, dar care necesită mai multe calcule. Unele modele se bazează pe principiile opticii geometrice , alte modele mai complexe, se bazează pe noţiunea de radiozitate. Radiozitatea unei suprafeţe reprezintă cantitatea de lumină care pleacă de la suprafaţă, datorită luminii emise de suprafaţă, reflectate şi transmise de ea.